

# Conception et développement d'un système d'aide à la décision basé sur l'intelligence artificielle pour la reprise de la conduite automobile en cas de déficit du champ visuel

## Artificial Intelligence based decision support system for the driving resumption in the case of visual field deficit

**Mots clés :** Intelligence artificielle, système d'aide à la décision, Champ visuel attentionnel ; Conduite automobile, données contrôles.

**Key Words:** Artificial intelligence, decision support systems UFOV test (useful field of view); Normative data; Driving skills.

### Résumé

Selon les normes instaurées par le Journal Officiel de la République Française (arrêté du 18 décembre 2015), la conduite automobile est incompatible avec une atteinte du champ visuel binoculaire affectant un périmètre défini (Figure 1). Ce déficit neurovisuel contre-indique la reprise de la conduite automobile **impactant très fortement l'autonomie de la personne et ses possibilités de réinsertion professionnelle.**

Au sein du service d'exploration fonctionnelle de la vision de l'hôpital Salengro (CHU de Lille), une procédure clinique mise en place repose sur un examen du champ visuel, de la cognition spatiale et des processus attentionnels, permettant d'identifier des possibilités de compensation de l'atteinte du champ visuel grâce aux processus cognitifs. Cette procédure, mise en place par des chercheurs et praticiens en neuropsychologie de l'adulte du CHU de Lille (Marks et al., 2025), a déjà été proposée à un ensemble de participants donnant lieu à une riche Base de Données Clinique (BDC). **Néanmoins, le protocole développé n'est pas formel dans le cas récurrent du respect de l'isoptère périphérique avec un déficit touchant les 40° centraux.** Dans ce cadre, les cliniciens, spécialistes des déficits neurovisuels espèrent s'appuyer sur l'Intelligence Artificielle (IA) qui révolutionne aujourd'hui l'aide à la décision dans le domaine de la santé avec une précision accrue. Dans le cadre de notre étude, l'explicabilité de l'IA (**XAI ou eXplainable AI**) est extrêmement importante pour nos chercheurs et praticiens en neuropsychologie, permettant une aide à la décision éclairée.

**L'objectif de la thèse est donc de concevoir et développer un Système d'Aide à la Décision Intelligent (SADI), basé sur l'IA Explicable (XAI), permettant (1) de perfectionner la procédure clinique mise en place : La BDC sera donc exploitée par l'IA dans le but d'aider à identifier les facteurs expliquant et/ou prédisant les possibilités de compensation cognitive de l'atteinte du champ visuel et (2) d'aider à la décision de la reprise ou non de la conduite automobile. Cette aide à la décision sera extrêmement utile aux cliniciens débutants ou confirmés, qui bénéficieront d'un modèle mimant la décision d'un *neuropsychologue expert*.** Aussi, la moyenne d'attente pour un rendez-vous est de 6 mois aujourd'hui sachant que le modèle de priorité actuel est de type FIFO (First In First Out) : le premier patient déposant son dossier, sera le premier planifié. Dans ce cadre, l'aide de l'IA permettra aussi **(3) une prise en**

**charge de qualité qui optimise les délais des examens cliniques en identifiant et donc en priorisant les cas les plus critiques.** Ce projet associe des objectifs scientifiques issus de plusieurs domaines dont la psychologie cognitive et les sciences numériques. En effet, il permet de mieux comprendre les liens existants entre la vue, la perception visuelle, la cognition spatiale et l'attention, en développant des procédures d'analyse adaptée à des échantillons d'effectifs cliniques.

## **Abstract**

According to the standards established by the Journal Officiel de la République Française (decree of 18 December 2015), driving is incompatible with binocular visual field impairment affecting a defined perimeter (Figure 1). This neurovisual deficit contraindicates resumption of driving, ***having a very significant impact on the person's independence and their chances of returning to work.***

Within the functional vision exploration department at the Salengro Hospital (Lille University Hospital), a clinical procedure has been set up based on an examination of the visual field, spatial cognition and attentional processes, making it possible to identify possibilities for compensating for visual field impairment using cognitive processes. This procedure, set up by researchers and practitioners in adult neuropsychology at Lille University Hospital (Marks et al., 2025), has already been offered to a group of participants, resulting in a rich Clinical Database (CDB). ***Nevertheless, the developed protocol is not formal in the recurrent case of respect for the peripheral isoptery with a deficit affecting the central 40°.*** In this context, clinicians specializing in neurovisual deficits are hoping to make use of Artificial Intelligence (AI), which is revolutionizing decision support in the healthcare field with increased precision. In the context of our study, the explicability of AI (XAI or eXplainable AI) is extremely important for our neuropsychology researchers and practitioners, enabling informed decision-making.

***The aim of the thesis*** is therefore to design and develop an Intelligent Decision Support System (IDSS), based on **XAI approach**, making it possible **(1) to improve the clinical procedure in place: the CDB will therefore be used by the AI to help identify the factors explaining and/or predicting the possibilities of cognitive compensation for the visual field impairment and (2) to help decide whether or not to resume driving.** This decision aid will be extremely useful for both novice and experienced clinicians, who will benefit from a model that mimics the decision of a neuropsychologist expert. The average wait for an appointment is currently 6 months, bearing in mind that the current priority model is FIFO (First In First Out): the first patient to submit his or her file will be the first to be scheduled. In this context, the help of AI will also **(3) to enable a better quality of care that optimizes clinical examination times by identifying and therefore prioritizing the most critical cases.** This project combines scientific objectives from several fields, including cognitive psychology and digital sciences. It will provide a better understanding of the links between sight, visual perception, spatial cognition and attention, by developing analysis procedures adapted to clinical samples.

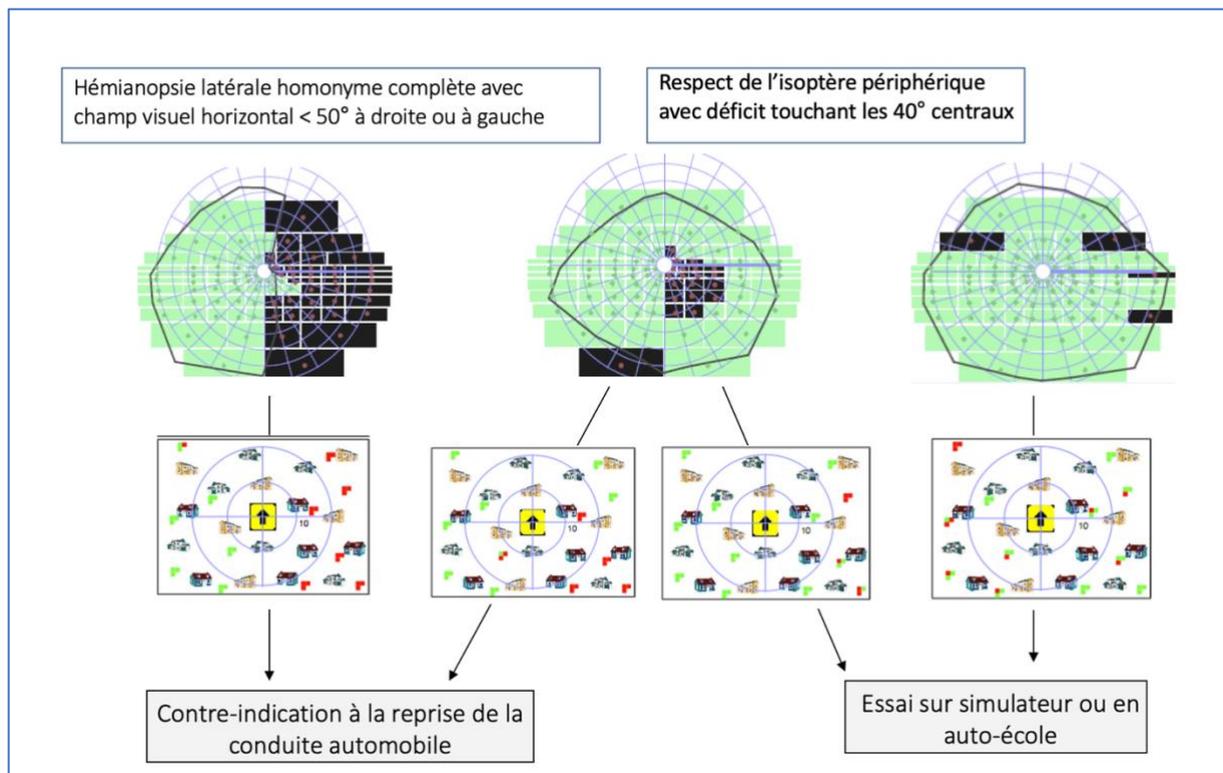


Figure 1. Représentation de la procédure clinique actuelle selon l'atteinte du champ visuel binoculaire

### Contexte et problématique :

Selon les normes instaurées par le Journal Officiel de la République Française (arrêté du 18 décembre 2015), la conduite automobile est incompatible avec une atteinte du champ visuel binoculaire affectant un périmètre défini. Ces déficits neurovisuels contre-indiquent la reprise de la conduite automobile **impactant très fortement l'autonomie de la personne et ses possibilités de réinsertion professionnelle**. Au sein du *service d'exploration fonctionnelle* de la vision de l'hôpital Salengro (CHU de Lille), une procédure clinique mise en place repose sur un examen du champ visuel, de la cognition spatiale et des processus attentionnels, permettant d'identifier des possibilités de compensation de l'atteinte du champ visuel grâce aux processus cognitifs. Cette procédure, mise en place par des chercheurs et praticiens en neuropsychologie de l'adulte du CHU de Lille (Marks et al., 2015), a déjà été proposé à un ensemble de participants donnant lieu à une riche Base de Données Clinique (BDC). **Néanmoins, le protocole développé n'est pas formel dans le cas récurrent du respect de l'isoptère périphérique avec déficit touchant les  $40^\circ$  centraux.**

Soutenue par la *Structure Fédérative de Recherche – Technologies pour la Santé et Médicament* (SFR-TSM<sup>1</sup>), une première collaboration récente (2022/2023) entre le laboratoire PSITEC - ULR 4072 (Psychologie : Interactions, Temps, Émotions, Cognition)<sup>2</sup> et le centre de recherche en informatique CRISTAL UMR CNRS 9189<sup>3</sup>, a permis d'étudier l'apport de l'IA au profit de la décision de **reprise de la conduite automobile en cas de déficit du champ visuel**.

<sup>1</sup> <http://sfr-tsm.ec-lille.fr>

<sup>2</sup> <https://psitec.univ-lille.fr>

<sup>3</sup> <https://www.cristal.univ-lille.fr/>

Cette étude a permis de démontrer qu'il n'existe pas aujourd'hui de solutions basées sur l'IA permettant d'atteindre un tel objectif. Les seuls travaux existants (voir état de l'art), proposent des solutions de prédiction de l'évolution du champ visuel en cas de pathologies ophtalmique tel que le glaucome.

### **Objectifs de la thèse :**

**La thèse vise la** conception et le développement d'un Système d'Aide à la Décision Intelligent (SADI), basé sur l'IA Explicable (XAI), permettant **(1)** de perfectionner la procédure clinique mise en place : **La BDC sera donc exploitée par l'IA dans le but d'aider à identifier les facteurs expliquant et/ou prédisant les possibilités de compensation cognitive de l'atteinte du champ visuel et (2) d'aider à la décision pour la reprise ou non de la conduite automobile. Cette aide à la décision sera extrêmement utile aux** cliniciens débutants ou confirmés, qui bénéficieront d'un modèle mimant la décision d'un *neuropsychologue expert*. Aussi, la moyenne d'attente pour un rendez-vous est de 6 mois aujourd'hui, sachant que le modèle de priorité actuel est de type FIFO (First In First Out) : le premier patient déposant son dossier, sera le premier planifié. Dans ce cadre, l'aide de l'IA **permettra également (3) une prise en charge de qualité qui optimise les délais des examens cliniques en identifiant et donc en priorisant les cas les plus critiques**. Ce projet associe des objectifs scientifiques issus de plusieurs domaines dont la psychologie cognitive et les sciences numériques. En effet, il permet de mieux comprendre les liens existants entre la vue, la perception visuelle, la cognition spatiale et l'attention, en développant des procédures d'analyse adaptée à des échantillons d'effectifs cliniques.

### **Programme prévisionnel de travail :**

1. ***Data engineering, Data management*** (T0+36) : Explorer, analyser et gérer la base de données clinique (BDC) fournie par les cliniciens et neuropsychologues du CHU de Lille. Cette tâche sera déployée pendant toute la thèse. Nos partenaires du CHU de Lille nous fournissent les nouvelles données au fur et à mesure des consultations cliniques.
2. ***Revue de la littérature et positionnement*** (T0+30) : Cette tâche sera clôturée 6 mois avant la fin de la thèse mettant à jour régulièrement la méta-analyse mise en place.
  - a. Mettre à jour la revue de la littérature initiée par les deux laboratoires (PSITEC et CRISTAL), concernant :
    - i. Les travaux en lien avec l'aide à la décision pour la prédiction des pathologies ophtalmiques et neurologiques.
    - ii. Les méthodes et techniques basées sur l'IA appliquées à ces pathologies.
  - b. Développer une revue de la littérature spécifique aux méthodes et techniques issues de l'XAI et les orientations éventuelles au profit des pathologies ophtalmiques et neurologiques.
  - c. Tableaux synthétiques et méta-analyse permettant de synthétiser quantitativement (par un effet combiné) les revues de la littérature développées sur la problématique de la thèse.
  - d. Positionnement.
3. ***Solution proposée*** (T6+30). Cette tâche sera également clôturée 6 mois avant la fin de la thèse perfectionnant régulièrement l'architecture de la solution proposée et la

méthodologie mise en place : Concevoir et développer un système d'aide basé sur l'XAI :

- a. Choix des méthodes et techniques, preuves & démonstrations (méthode formelle),
  - b. Conception, développement et optimisation des algorithmes développés.
4. **Expérimentations, optimisations et résultats** (T24+12). Expérimentations & Optimisation de la solution proposée :
- a. Comparer différentes configurations de la solution XAI proposée
  - b. Preuves semi-formelles & optimisations de la solution proposée
  - c. Confronter la solution proposée :
    - i. A la procédure clinique,
    - ii. Aux méthodes usuelles du *machine learning*, non explicables.

### État de l'art :

La décision relative à la capacité de conduire des personnes souffrant de déficits du champ visuel est un sujet d'intérêt majeur (Büla et al., 2011). Lors des bilans ophtalmologiques pour la reprise de la conduite automobile, en plus du test de champ visuel standard, une procédure de champ visuel attentionnel, dite "Useful Field of View" (UFOV), est réalisée chez les patients cérébrolésés (Clay et al., 2005 ; Sekuler & Ball, 1986). N'ayant pas de normes établies pour la prise de décision en matière de conduite automobile, l'étude réalisée par des chercheurs et praticiens en ophtalmologie et en neuropsychologie de l'adulte du CHU de Lille en 2015 (Marks et al. 2015) a permis d'établir des normes basées sur le score seuil (5e percentile) pour les omissions dans trois catégories de tâches utilisant le test UFOV : simple tâche (ST), double tâche (DT) et double tâche avec distracteurs visuels (DT-dis). L'objectif est de vérifier la capacité de la reprise de la conduite automobile d'un individu souffrant de déficits du champ visuel.

Comme il a été précisé dans la première partie de ce document (contexte et problématique), le protocole établi reste basique, issu d'études statistiques, ne permettant pas toujours une aide à la décision efficace, ni une planification optimale des consultations.

Dans ce contexte, et en raison du développement croissant de l'Intelligence Artificielle (IA), les spécialistes des déficits neurovisuels espèrent aujourd'hui s'appuyer sur l'IA pour faciliter la prise de décision et permettre ainsi aux personnes souffrant de déficits du champ visuel de reprendre la conduite en toute sécurité. Ces spécialistes du CHU de Lille, nous mettent à disposition, au profit de l'étude, une riche Base de Données Clinique (BDC) qui ne cesse de s'enrichir au fur et à mesure des consultations.

**Plusieurs travaux se basant sur l'IA ont tenté de prédire l'évolution de l'état du champ visuel lié à une maladie ophtalmique ou neurologique ou tout simplement d'estimer la taille du champ de vision utile (UFOV) mais aucune étude ne s'est focalisée sur le déploiement de l'IA pour la mise en place d'un système d'aide à la décision lié au champ attentionnel pour une éventuelle compensation grâce aux processus attentionnels de l'atteinte du champ visuel.**

Les chercheurs qui se penchent sur la problématique du champ visuel se sont intéressés particulièrement l'apprentissage automatique ou *Machine Learning (ML)*, permettant aux systèmes informatiques d'acquérir de l'expérience pour perfectionner la prise de décision

future. Dans ce cadre, les auteurs dans (*McNaught et al., 1995 ; O'Leary et al., 2012*), ont conclu que le modèle de régression linéaire était le meilleur pour générer les prédictions les plus précises de l'état futur du champ visuel. Toutefois, d'autres études ont démontré que des modèles plus complexes permettent d'obtenir des prédictions supérieures.

Les **Réseaux de Neurones** (RN) correspondent à une sous-catégorie du **ML**, appelée apprentissage profond ou *deep learning (DL)*. Les RN ont démontré d'excellentes performances dans certaines études de prédiction de la progression des défauts du champ visuel.

Dans (*Morishima et al., 2015*), les auteurs proposent une méthode d'estimation de la taille du champ de vision utile (UFOV) à l'aide de trois méthodes de *ML* : Support Vector Machine ou SVM, boosting (méthode d'apprentissage ensembliste ou *ensemble learning*, sous-catégorie du ML) et Radial Basis Function Network ou RBFN (méthode de RN). L'étude a permis de distinguer s'il y a un fort rétrécissement de l'UFOV, avec une précision d'environ 85% obtenue par la technique du boosting, dans des conditions expérimentales définies. Cependant, l'étude de la précision de la discrimination pour le faible rétrécissement de l'UFOV était insuffisante dans le cadre de la même étude.

Le réseau neuronal récurrent (RNN), a fait preuve de performances exceptionnelles. Parallèlement au réseau neuronal convolutionnel (CNN), qui excelle dans la reconnaissance d'images, le RNN a remporté un grand succès dans les tâches d'étiquetage et de prédiction de séquences pour les données séquentielles. Contrairement à d'autres réseaux neuronaux, le RNN conserve l'historique des données d'entrée au sein du réseau neuronal (*Hochreiter & Schmidhuber, 1997*) ; ainsi, la sortie du RNN est produite en tenant compte des entrées passées. Une série d'exams du champ visuel comprend également des données séquentielles, ce qui permet au RNN de mieux interpréter la véritable progression du champ visuel et de prédire l'évolution avec plus de précision, par rapport aux méthodes conventionnelles (*Park & Kim, 2019*).

Dans (*Wen et al., 2019*), les auteurs utilisent un CNN pour prédire l'évolution future des champs visuels, en utilisant un seul examen du champ visuel comme entrée. Les auteurs dans (*Berchuck et al., 2019*) se basent sur un modèle d'autoencodeur variationnel pour estimer le taux de progression du champ visuel.

Les algorithmes d'apprentissage automatique ont démontré de bonnes performances dans la prédiction de la progression du glaucome. Dans ce cadre, et afin de mesurer et prédire les taux de dégradation du champ visuel, les auteurs dans (*Caprioli et al., 2011*), ont comparé des modèles linéaires, quadratiques et exponentiels ; ils ont indiqué que les modèles exponentiels offrent la meilleure adéquation. L'étude dans (*Murata et al., 2014*) a révélé une capacité de prédiction supérieure d'une forme de régression linéaire de Bayes par rapport une régression linéaire usuelle. Les auteurs dans (*Wang et al., 2019*) se sont basés sur une méthode de ML non supervisée pour la détection de la progression du champ.

## **Bibliographie**

- S. I. Berchuck, S. Mukherjee, F. A. Medeiros, Estimating rates of progression and predicting future visual fields in glaucoma using a deep variational autoencoder, Scientific Reports 9 (1) (2019) 18113.*
- C. Büla, S. Eyer, A. von Gunten, B. Favrat, S. Monod, Conduite automobile et troubles cognitifs : comment anticiper?, Revue médicale suisse (316) (2011) 2184.*
- J. Caprioli, D. Mock, E. Bitrian, A. A. Afifi, F. Yu, K. Nouri-Mahdavi, A. L. Coleman, A method to measure and predict rates of regional visual field decay in glaucoma, Investigative ophthalmology & visual science 52 (7) (2011) 4765–4773.*
- O. J. Clay, V. G. Wadley, J. D. Edwards, D. L. Roth, D. L. Roenker, K. K. Ball, Cumulative meta-analysis of the relationship between useful field of view and driving performance in older adults: Current and future implications, Optometry and vision science 82 (8) (2005) 724–731.*
- S. Hochreiter, J. Schmidhuber, Long short-term memory, Neural computation 9 (8) (1997) 1735–1780.*
- C. Marks, I. Bouacha, S. Defoort, D. Basset, C. Moroni, Principle of the useful field of view and normative data, Journal Francais D’ophtalmologie 38 (6) (2015) 486–492.*
- A. McNaught, R. A. Hitchings, D. Crabb, F. Fitzke, Modelling series of visual fields to detect progression in normal-tension glaucoma, Graefe’s archive for clinical and experimental ophthalmology 233 (1995) 750–755.*
- H. Murata, M. Araie, R. Asaoka, A new approach to measure visual field progression in glaucoma patients using variational bayes linear regression, Investigative ophthalmology & visual science 55 (12) (2014) 8386–8392.*
- N. O’Leary, B. C. Chauhan, P. H. Artes, Visual field progression in glaucoma: estimating the overall significance of deterioration with per- mutation analyses of pointwise linear regression (poplr), Investigative ophthalmology & visual science 53 (11) (2012) 6776–6784.*
- K. Park, J. Kim, J. Lee, Visual field prediction using recurrent neural network, Scientific reports 9 (1) (2019) 8385.*
- R. Sekuler, K. Ball, Visual localization: Age and practice, JOSA A 3 (6) (1986) 864–867.*
- M. Wang, L. Q. Shen, L. R. Pasquale, P. Petrakos, S. Formica, M. V. Boland, S. R. Wellik, C. G. De Moraes, J. S. Myers, O. Saeedi, et al., An artificial intelligence approach to detect visual field progression in glaucoma based on spatial pattern analysis, Investigative ophthalmology & visual science 60 (1) (2019) 365–375.*
- J. C. Wen, C. S. Lee, P. A. Keane, S. Xiao, A. S. Rokem, P. P. Chen, Y. Wu, A. Y. Lee, Forecasting future humphrey visual fields using deep learning, PloS one 14 (4) (2019) e0214875.*